Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 3, Fall 2024, p. 537-549

The Study of Drought Resistance in Different Ecotypes of Garlic Based on the Tolerance Indices in the Climatic Conditions of Hamedan

M. Kakaei[1*]
1- Associate Professor of Plant Breeding, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: m.kakaei@pnu.ac.ir)

Received: 16-11-2023
Revised: 05-02-2024
Accepted: 23-04-2024
Available Online: 24-04-2024

How to cite this article:
Kakaei, M. (2024). The study of drought resistance in different ecotypes of garlic based on the tolerance indices in the climatic conditions of Hamedan. *Journal of Horticultural Science*, *38*(3), 537-549. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2024.85395.1303

Introduction and Objective

The garlic (*Allium sativum*) is a plant that is known all over the world as a food additive or flavoring and also because of its medicinal properties. Garlic is chemically diverse, and many compounds have been extracted and tested from it, including Allicin, diallyl sulfides, and ajoene, which are probably the most studied compounds in garlic. Garlic has antibacterial activity, cardiovascular effect, stimulation of the immune system and also has an effect on cancer. Therefore, given the statistics on rainfall and the excessive extraction pressure on underground water sources, large-scale research on drought in agriculture is essential. Drought is a significant limiting factor in agricultural production, preventing maximum plant yield. Thus, comparing performance in various environmental conditions (stressed and non-stressed) and selecting cultivars under such conditions can help evaluate their resistance to stress. Drought and water limitation are among the most important problems affecting the agricultural sector to increase the efficiency and optimal production of crops in the world, including Iran. Successful crossing of land requires research and applied research in this sector. But few studies have been performed in connection with garlic medicinal plant. Therefore, the present study was designed and implemented with the aim of investigating yeild indicators in two environmental conditions (environment with supplemental irrigation and dry environment) in garlic plant with the help of drought tolerance indicators.

Materials and Methods

In this research, in order to investigate the genetic diversity of garlic ecotypes, sieve and to identify resistant ecotypes in dry land, 6 garlic ecotypes with the arrangement of randomized complete blocks design with three replications in the crop year 2023 in two stress environmental conditions drought and without drought stress was designed and implemented in the educational-research farm of Payame Noor University in Asadabad. The studied drought tolerance indices are: yield index (YI), stress tolerance index (STI), harmonic mean index (HAM), average productivity index (MP), yield stability index (YSI), sensitivity index to stress (SSI) and tolerance index (TOL) were based on the economic yield of garlic in two environmental conditions of drought stress and without drought stress. Correlation was calculated between tolerance indices and yield under drought stress conditions and supplementary irrigation conditions, and based on the analysis of these correlations, tolerance indices were selected and the most appropriate indices were selected in both environmental conditions, including drought stress conditions and supplementary irrigation that had a good correlation with yield were selected. Finally, after identifying the most favorable indicators, a three-dimensional statistical graph was used to determine drought-tolerant cultivars with high yield in both environmental conditions, in which the yield in supplementary irrigation conditions on the X-axis, the yield in stress conditions (rain) was shown on the Z-axis and one of the above-mentioned selected indicators on the Y-axis. To show the relationship between three variables and distinguish group A from other groups (B, C and D) as well as the usefulness of the mentioned index as a criterion for selecting cultivars with high yield and tolerance to

https://doi.org/10.22067/jhs.2024.85395.1303

drought, X-Z level by drawing cross lines to four groups A, B, C and D were divided and because in a three-dimensional diagram only the relationship between three variables can be evaluated, to study more than three variables at the same time, bi-plot diagrammatic display based on analyzes Multi-variables were drawn with the help of the digit-index data matrix to determine the relationships between digits and drought tolerance indices in a single image. Before performing data analysis, the presence of outliers was checked. Statistical analysis of the data was done using Minitab version 15 and SPSS version 26.

Results and Discussion

Based on the results of analysis of variance, the yield index in normal humidity conditions and the yield index in drought stress conditions were significant at the probability level of one percent ($P \leq 1\%$). In this study, STI, SSI, MP, GMP, HAM, YI, YSI, DI and STS indicators were significant at the probability level of one percent ($P \leq 1\%$), which indicates the diversity among ecotypes. garlic in terms of the studied indicators. Based on the decomposition into main components for drought tolerance indices, both the first and second components justify 94% of the changes. According to the correlation table, the correlation between yield in normal humidity conditions (Yp) with yield traits in drought stress conditions (Ys) and MP, GMP, HAM, YI, ATI, YSI and STS indicators has a positive and significant correlation. be in the bi-plot diagram, ecotypes Bahar2 and Soolan are located near STI, ATI, GMP and MP indicators, which are indicators of drought tolerance. These two ecotypes (Bahar2 and Soolan) are also located in they were placed in the first group, so it can be concluded that according to the biplot diagram, these ecotypes were desirable and indicative ecotypes. Based on cluster analysis, ecotypes are classified into two statistical groups, the first group includes ecotypes Maryanaj, Bahar1 and Emam zadeh koh (Toeejin), and the second group includes ecotypes Bahar2 and Soolan and Asadabad. Ecotypes with lower yield are placed in the first group and ecotypes with higher and more suitable yield are placed in the second group.

Conclusion

Based on all the statistical analyses used in the research, the Bahar2 and Soolan ecotypes had the highest biomass yield. The overall results of this research indicated the very important and useful role of drought tolerance indices in differentiating the studied ecotypes.

Keywords: Bi-plot, Drought tolerance indicators, Supplementary irrigation, Yield

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸، شماره ۳، پاییز ۱٤۰۳، ص. ۵۳۷-۵٤۹

مطالعه مقاومت به خشکی در اکوتیپ‌های مختلف سیر بر اساس شاخص‌های تحمل در شرایط آب‌وهوایی همدان

مهدی کاکایی[1]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۴

چکیده

خشکی و محدودیت آب از جمله مهمترین مسائل مرتبط با بخش کشاورزی برای افزایش راندمان و تولید مطلوب محصولات زراعی و باغی در دنیا و از جمله ایران می‌باشد. عبور موفق از خشکی مستلزم تحقیقات و پژوهش‌های کاربردی در این بخش می‌باشد. در این پژوهش برای بررسی تنوع ژنتیکی اکوتیپ‌های سیر، غربال و شناسایی اکوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی، تعداد شش اکوتیپ سیر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در دو شرایط محیطی تحت تنش خشکی و بدون تنش خشکی طراحی و اجرا گردید. شاخص‌های تحمل به خشکی مورد بررسی عبارت بودند از: شاخص عملکرد (YI)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص میانگین هارمونیک (HAM)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل (TOL) که بر اساس عملکرد اقتصادی سیر در دو شرایط محیطی فوق‌الذکر اندازه‌گیری شدند. بر اساس نتایج حاصله از تجزیه واریانس، شاخص عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی و شاخص عملکرد در شرایط تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. در این مطالعه، شاخص‌های STI، SSI، MP، GMP، HAM، YI، YSI، DI و STS در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند که نشان‌دهنده تنوع موجود در بین اکوتیپ‌های سیر از نظر شاخص‌های مورد مطالعه می‌باشد. بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به خشکی، مجموع دو مؤلفه اول و دوم ۹۴ درصد از تغییرات ایجاد شده را توجیه نمودند. همبستگی بین عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی (Yp) با صفات عملکرد در شرایط تنش خشکی (Ys) و شاخص‌های MP، GMP، HAM، YI، ATI، YSI و STS همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان داد. در نمودار بای‌پلات اکوتیپ‌های 'بهار ۲' و 'سولان' در جوار شاخص‌های STI، ATI، GMP و MP که شاخص‌های تحمل به خشکی می‌باشند قرار گرفتند و این دو اکوتیپ ('بهار ۲' و 'سولان') بر اساس نمودار سه بعدی نیز در گروه اول قرار گرفتند. لذا بر اساس نمودار بای‌پلات نیز این اکوتیپ‌ها، اکوتیپ‌های مطلوب و شاخصی بوده‌اند. بر اساس تجزیه خوشه ای اکوتیپ‌ها به دو گروه دسته‌بندی شدند، گروه اول شامل اکوتیپ‌های 'مرینانج'، 'بهار ۱' و 'امامزاده‌کوه' ('توئیجین') و گروه دوم شامل اکوتیپ‌های 'بهار ۲'، 'سولان' و 'اسدآباد' بودند. در گروه اول اکوتیپ‌هایی با عملکرد کمتر و در گروه دوم اکوتیپ‌هایی با عملکرد بالاتر و مناسب‌تر قرار گرفتند. به‌طور کلی و بر اساس کلیه تجزیه‌های آماری مورد استفاده در پژوهش حاضر به‌ترتیب اکوتیپ‌های 'بهار ۲' و 'سولان' بیشترین عملکرد زیست‌توده را به خود اختصاص دادند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تکمیلی، بای‌پلات، شاخص‌های تحمل خشکی، عملکرد

مقدمه

گیاه سیر *Allium sativum* L. گیاهی است که در سراسر جهان به‌عنوان یک افزودنی غذایی یا طعم‌دهنده و همچنین به‌دلیل فراوانی خواص دارویی آن، شناخته شده است. سیر از نظر ترکیبات شیمیایی متنوع می‌باشد و ترکیبات زیادی از آن شامل آلیسین، دی‌آلیل سولفیدها و آجوئن که احتمالاً بیشترین و مطالعه‌شده‌ترین ترکیبات سیر هستند استخراج و آزمایش شده است. از جمله خواص بالینی سیر، فعالیت ضدباکتریایی، اثر قلبی عروقی، محرک سیستم ایمنی و همچنین اثر ضد سرطانی آن می‌باشد (Oosthuizen *et al*., 2018). خشکسالی یک اتفاق طبیعی می‌باشد و اجتناب از آن غیرممکن است. خشکی و خشکسالی در مقیاس جهانی، مقیاس محلی و منطقه‌ای

۱- دانشیار اصلاح‌نباتات، بخش علوم کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: m.kakaei@pnu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jhs.2024.85395.1303

مصداق و تعاریف مربوط به خود را دارد. بنابراین خشکسالی یک خصوصیت طبیعی و نرمال از اقلیم است که در کلیه رژیم‌های جغرافیایی قابل اتفاق است (Wilhite, 1993; Khalili, 2016). لذا با توجه به آمار نزولات آسمانی و فشار مضاعف به منابع آبی زیرزمینی (اضافه برداشت) تحقیقات مربوط به خشکی در کشاورزی در سطح وسیع باید انجام بگیرد. خشکی از جمله عوامل مهم محدود کننده تولیدات زراعی به شمار می‌رود که از پتانسیل تولید گیاهان می‌کاهد. لذا قیاس عملکرد در شرایط محیطی متنوع (تنش خشکی و بدون تنش خشکی) و انتخاب در چنین شرایطی، رقم مطلوب و دارای عملکرد بالاتر در دو محیط را شناسایی می‌کند (Kakaei *et al.*, 2010). بر مبنای فرمول (Fernandez, 1992) ارقام مورد مطالعه از نظر توان عملکردی و تحمل به تنش به چهار بخش شامل: گروه A (ارقام یا ژنوتیپهایی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای عملکرد نسبی بالاتری هستند)، B (ارقامی که تنها در شرایط محیطی فاقد تنش، دارای عملکرد بالایی هستند)، C (ارقامی که در شرایط تنش دارای عملکرد نسبی بالایی هستند) و D (ارقامی که در دو محیط دارای شرایط تنش و بدون تنش دارای عملکرد پایین‌تری هستند) قابل تفکیک هستند. در پژوهشی در سال ۱۹۹۲ اعلام شد که هر شاخصی که بتواند ارقام گروه A را از سایر گروهها تشخیص دهد، می‌توان آن را شاخص مناسبی در نظر گرفت (Fernandez, 1992). در تحقیقی، شاخص تحمل به تنش (STI) برای شناسایی ارقام گروه A ارائه شد و اعلام گردید که مقدار عددی بالای این شاخص برای هر رقم، نشان‌دهنده تحمل به خشکی بالاتر و عملکرد فوق‌العاده بالاتر آن رقم می‌باشد (Fernandez, 1992). در پژوهشی در سال ۲۰۱۰ اعلام شد که شاخص STI مطلوب‌ترین شاخص جهت انتخاب ارقام متحمل می‌باشد (Kakaei *et al.*, 2010). فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص دیگری به نام شاخص میانگین هندسی عملکرد (محصول‌دهی) به نام (GMP) را معرفی نمود. این شاخص نیز در تفکیک ارقام، شاخص مطلوبی است. شاخص SSI که برای اولین بار فیشر و مائورر (Fischer & Maurer, 1978) آن را معرفی کردند و آنها اعلام کردند که ارقام با میزان عددی کمتر SSI، نشان‌دهنده تغییرات کم عملکرد در محیط تنش نسبت به محیط بدون تنش و پایداری بیشتر رقم می‌باشد. لذا گزینش بر مبنای SSI باعث انتخاب ارقام متحمل به تنش ولیکن با پتانسیل عملکرد کم‌تر می‌شود. شاخص YSI را بوسلاما و اسچاپو (Bouslama & Schapaugh, 1984) معرفی کرد. عملکرد در محیط تنش و بدون تنش در این شاخص با هم ارتباط دارند لذا از ژنوتیپی با میزان شاخص YSI بالاتر انتظار است که در هر دو محیط، عملکرد بیشتری داشته باشند. شاخص‌های تحمل (TOL) و میانگین بهره‌وری (MP) بەوسیله روسیل و هامبلین (Rosielle & Hamblin, 1981) اعلام شد. لذا ایشان اعتقاد داشتند که گزینش بر اساس میزان کمتر شاخص تحمل (TOL)، سبب انتخاب ارقامی خواهد شد که عملکرد آنها در شرایط تنش نسبت به شرایط غیر تنش، کاهش کمتری داشته و از ثبات عملکرد مناسبی برخوردار خواهد بود. بنابراین گزینش بر اساس شاخص میانگین محصول‌دهی (MP) باعث گزینش ارقامی با پتانسیل عملکرد بالا ولیکن تحمل کم به تنش می‌گردد. محققین بسیاری از شاخص‌های تحمل خشکی در مطالعات خود استفاده کرده‌اند و آنها را روش‌های مطلوبی جهت شناسایی ژنوتیپهای دارای عملکرد مناسب در هر دو شرایط محیطی دانسته‌اند (Kakaei *et al.*, 2010; Kakaei *et al.*, 2012; Kakaei; 2019). نظر به ضرورت ارزیابی تنش خشکی در حوزه کشاورزی و مهم بودن کشت گیاهان دارویی و صنعتی، اجرای تحقیق در ارتباط با بررسی تنش خشکی بر خصوصیات رشدی این نوع گیاهان، ضروری می‌باشد. لیکن پژوهش‌های اندکی در رابطه با گیاه دارویی سیر صورت گرفته است. لذا مطالعه پیش‌رو با هدف بررسی شاخص‌های عملکردی در دو شرایط محیطی (شرایط با آبیاری تکمیلی و شرایط دیم) در گیاه سیر با کمک شاخص‌های تحمل خشکی طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از شش اکوتیپ محلی سیر بومی در غرب کشور (منطقه همدان) استفاده گردید (جدول ۱). اکوتیپ‌های این تحقیق در تاریخ سی‌ام آبان ماه ۱۴۰۱ در مزرعه آموزشی-پژوهشی دانشگاه پیام‌نور اسدآباد مورد کاشت واقع گردید. عمل تهیه زمین با استفاده از گاوآهن برگرداندار صورت پذیرفت و بعد از آماده کردن زمین، کاشت سیرچه‌ها بەوسیله دست انجام گرفت. فاصله بین بوته‌ها در هر ردیف ۱۵ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها نیز ۲۰ سانتی‌متر برای هر کرت در نظر گرفته شد. اقدامات زمان داشت گیاه، شامل مبارزه با علف‌های هرز توسط دست انجام شد. در فواصل زمانی کاشت تا زمان برداشت هیچ‌گونه آبیاری در سایت دیم صورت نپذیرفت ولیکن یک نوبت آبیاری تکمیلی (در تکمیل بارندگی‌های انجام شده) در مرحله ۶ تا ۸ برگی در سایت با آبیاری تکمیلی انجام شد. در زمان عملیات کاشت گیاه، از کود دامی پوسیده به میزان دو تن در هکتار در زمین استفاده شد. سیرچه‌های اکوتیپ‌های سیر مورد مطالعه در این تحقیق از کشاورزان و بازارچه‌های محلی استان همدان تهیه شد و به نام شهر و منطقه مورد جمع‌آوری نامگذاری گردیدند. شکل ۱، تصویر سیرچه-های (برداشت شده) اکوتیپ‌های سیر مورد پژوهش را نشان می‌دهد. بوته‌ها بعد از ۱۹۰ روز از کشت سیرچه‌ها، بەصورت دستی برداشت شدند. با رعایت حذف اثر حاشیه و در پایان مرحله‌ی رشدی یعنی

بعداز رسیدگی کامل گیاه، از صفت زیست‌توده (وزن تک بوته با اندام هوایی) مربوط به هر واحد آزمایشی (اکوتیپ) به‌طور تصادفی انتخاب شد و اندازه‌گیری‌های مربوط به وزن با ترازوی دیجیتال حساس از نوع Jadever (Sky)، در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه پیام نور اسدآباد انجام گرفت. شاخص‌های حساسیت و تحمل خشکی با استفاده از روابط جدول ۲ (شاخص حساسیت به تنش (Fischer & Maurer, 1978)، شاخص تحمل (Rosielle & Hamblin, 1981)، شاخص میانگین بهره‌وری (Rosielle & Hamblin, 1981)، شاخص تحمل تنش (Fernandez, 1992)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (Fernandez, 1992)، شاخص میانگین هارمونیک (Fernandez, 1992)، شاخص عملکرد (Lin et al., 1986)، شاخص تحمل به تنش تغییر یافته در شرایط تنش و بدون تنش (Farshadfar & Sutka, 2002)، شاخص حساسیت به خشکی (Farshadfar & Sutka, 2002)، شاخص تحمل تنش غیر زنده (Moosavi et al., 2008)، شاخص پایداری عملکرد (Blum, 1988) و شاخص امتیازدهی تحمل خشکی (Farshadfar & Sutka, 2002) محاسبه شدند (جدول ۳). بین شاخص‌های تحمل و عملکرد در شرایط تنش خشکی و شرایط آبیاری تکمیلی همبستگی محاسبه شد و بر مبنای تحلیل این همبستگی‌ها، شاخص‌های تحمل گزینش شدند و مناسب-ترین شاخصی که در هر دو شرایط محیطی شامل شرایط تنش خشکی و شرایط آبیاری تکمیلی که دارای همبستگی مناسبی با عملکرد بودند گزینش شدند. نهایتاً بعد از تشخیص مطلوب‌ترین شاخص(ها)، برای تعیین ارقام متحمل به خشکی با عملکرد بالا در هر دو شرایط محیطی از گراف آماری سه بعدی استفاده شد که در آن عملکرد در شرایط آبیاری تکمیلی بر روی محور Xها، عملکرد در شرایط تنش (دیم) بر روی محورZها و یکی از شاخص‌های گزینش شده فوق‌الذکر بر روی محور Yها نشان داده شد (Kakaei, 2019b). برای نمایش ارتباط بین سه متغیر و تمیز نمودن گروه A از سایر گروه‌ها (B، C و D) و نیز سودمندی شاخص مورد اشاره به عنوان معیاری برای گزینش ارقام با عملکرد بالا و متحمل به خشکی، سطح X-Z با رسم خطوط متقاطع به چهار گروه A، B، C و D تقسیم گردید و به‌دلیل اینکه در یک نمودار سه‌بعدی تنها ارتباط بین سه متغیر را می‌توان ارزیابی کرد. برای مطالعه همزمان بیشتر از سه متغیر، نمایش ترسیمی بای‌پلات بر اساس تجزیه‌های چندمتغیره، با کمک ماتریس داده‌های رقم-شاخص برای تعیین روابط بین ارقام و شاخص‌های تحمل به خشکی در یک تصویر واحد رسم شد (Kakaei, 2023). قبل از انجام تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، وجود داده‌های پرت مورد بررسی قرار گرفت (Kakaei, 2023). برای تجزیه‌وتحلیل-های آماری داده‌ها از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۵ و SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد و از روش چند دامنه‌ای دانکن برای مقایسه میانگین در سطح احتمال ۱ درصد استفاده گردید. جدول ۳ مجموع بارش‌ها در زمان کاشت و پس از آن به‌صورت ماهانه و بر حسب میلی‌متر در شرایط محل پژوهش را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۴)، اختلاف شاخص عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی و شاخص عملکرد در شرایط تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار گردید. در این مطالعه، شاخص‌های STI، SSI، MP، GMP، HAM، YI، YSI، DI و STS در سطح احتمال یک درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار شدند که نشان‌دهنده تنوع موجود در بین اکوتیپ‌های سیر از نظر شاخص‌های مورد مطالعه می‌باشد. در حقیقت این نتیجه نشان‌دهنده شرایط مناسب و متنوع بین عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی و شرایط تنش خشکی می‌باشد که به‌نژادگر قادر به انتخاب از بین تنوع شناسایی شده می‌باشد. محققین بسیاری در پژوهش‌های خود از تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل به خشکی استفاده کرده و شاخص های معنی‌داری که در این تحقیق معنی‌دار بوده‌اند را نیز گزارش نموده‌اند (Kakaei et al., 2010، Kakaei et al., 2019a، Kakaei et al., 2019b).

جدول ۱- اسامی اکوتیپ‌های مختلف مورد مطالعه گیاه سیر

Table 1- Different ecotypes of studied garlic plants

ردیف Row	نام اکوتیپ Ecotype name	ردیف Row	نام اکوتیپ Ecotype name
1	مریانج Maryanaj	4	سولان Soolan
2	بهار ۲ Bahar 2	5	اسدآباد Asadabad
3	بهار ۱ Bahar 1	6	امامزاده کوه (توئیجین) Emam zadeh koh (Toeejin)

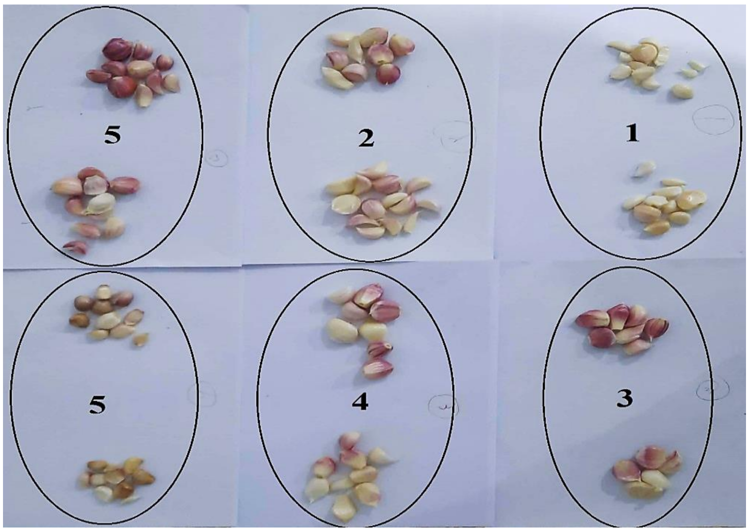
جدول ۲- شاخص‌های متحمل به خشکی مورد مطالعه در اکوتیپ های مختلف گیاه سیر

Table 2- Drought tolerant indicators for studied ecotypes of garlic plants

(1)	شاخص حساسیت به تنش Stress Susceptibility Index (SSI)	$SSI = \frac{1-(Y_S/Y_P)}{1-(\bar{Y}_S/\bar{Y}_P)}$
(2)	شاخص تحمل Stress Tolerance (TOL)	$TOL = Y_P - Y_S$
(3)	شاخص میانگین بهره‌وری Mean Productivity (MP)	$MP = \frac{Y_S + Y_P}{2}$
(4)	شاخص تحمل تنش Stress Tolerance Index (STI)	$STI = \frac{Ys \times Yp}{Yp^2}$
(5)	شاخص میانگین هندسی بهره‌وری Geometric Mean Productivity (GMP)	$GMP = \sqrt{(Ys \times Yp)}$
(6)	شاخص میانگین هارمونیک Harmonic Index	$HMP = \frac{2\ Yp \times Ys}{Yp + Ys}$
(7)	شاخص عملکرد Yield Index (YI)	$YI = \frac{Ys}{\bar{\bar{Y}}s}$
(8)	شاخص تحمل به تنش تغییر یافته تحت شرایط بدون تنش Modified Stress Tolerance Index in Without Drought Stress	$K_1STI = \frac{(Y_P)^2}{(\bar{Y}_P)^2} \times STI$
(9)	شاخص تحمل به تنش تغییر یافته تحت شرایط تنش Modified Stress Tolerance Index in Drought Stress	$K_2STI = \frac{(Y)^2}{(\bar{Y}_S)^2} \times STI$
(10)	شاخص حساسیت به خشکی Drought Resistance Index	$DI = Y_S \times \left(\frac{(\frac{Y_S}{Y_P})}{\bar{Y}_S}\right)$
(11)	شاخص تحمل تنش غیرزنده (Abiotic-stress Tolerance Index (ATI))	$ATI = (\frac{Y_P - Y_S}{\frac{Y_S}{\bar{\bar{Y}}_P}}) \times GMP$
(12)	شاخص پایداری عملکرد Yield Stability Index (YSI)	$YSI = \frac{Ys}{Yp}$
(13)	شاخص امتیازدهی تحمل خشکی (Stress Tolerance Score (STS))	STS=GMPstd+STIstd+HMPstd+MPstd-TOLstd–SSIstd-bstd

Yp و Ys به‌ترتیب عملکرد دانه در شرایط بدون تنش خشکی و دارای تنش خشکی و $\bar{Y}$p و $\bar{\bar{Y}}$s به‌ترتیب میانگین‌های عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی و دارای تنش خشکی می‌باشند.

Yp and Ys are the grain yield in the conditions without drought stress and with drought stress, respectively, and Yp and Ys are the average yield in the conditions without drought stress and with drought stress, respectively.



شکل ۱- تصویر سیرچه‌های، اکوتیپ‌های مختلف مورد مطالعه گیاه سیر

Figure 1- The cloves of different studies ecotypes of garlic plants

جدول ۳- مقدار بارندگی ماهانه (بر حسب میلی‌متر) در محل انجام پژوهش

Table 3- The amount of monthly rainfall (in mm) in the research location

سال زراعی Year	اسفند ۱۴۰۱ 2023 February	فروردین ۱۴۰۲ 2023 March	اردیبهشت ۱۴۰۲ 2023 April	خرداد ۱۴۰۲ 2023 May	تیر ۱۴۰۲ 2023 June
1401-1402 2022-2023	43.3	55.7	61.2	28.9	0

در جدول ۵، عملکرد سوخ در دو شرایط رطوبتی و میزان عددی دیگر شاخص‌های تحمل خشکی و ضریب تغییرات مربوطه نشان داده شده است. در خصوص عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی (Yp) و عملکرد سوخ در شرایط تنش خشکی (Yp) بیشترین مقدار مربوط به اکوتیپ بهار ۲ و کمترین میزان آن مربوط به اکوتیپ امامزاده‌کوه (توئیجین) می‌باشد. در خصوص شاخص تحمل (TOL) بیشترین مقدار مربوط به اکوتیپ سولان و کمترین میزان آن مربوط به اکوتیپ اسدآباد می‌باشد. جدول ۶، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص-های تحمل به خشکی را نمایش می‌دهد. مؤلفه اول ۸۲/۴ درصد از تغییرات کل را توجیه می‌کند و هر دو مؤلفه اول و دوم توامان ۹۴ درصد از تغییرات ایجاد شده را توجیه نمودند. در پژوهش‌های مختلف به‌منظور بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی از روش آماری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شده است (Kakaei &Kakaei, 2009 , Moosavi, 2017). جدول ۷ ضرایب همبستگی شاخص‌های تحمل به خشکی، عملکرد سوخ در شرایط تنش خشکی و بدون تنش خشکی را نشان می‌دهد. بر اساس جدول همبستگی، همبستگی بین عملکرد در شرایط نرمال رطوبتی (Yp) با صفات عملکرد در شرایط تنش خشکی (Ys) و شاخص‌های MP، GMP، HAM، YI، ATI، YSI و STS دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار می‌باشد و با شاخص های DI و SSI دارای همبستگی منفی و معنی‌دار می‌باشد و همچنین شاخص‌های GMP، HAM، YI، ATI، YSI، STS، DI و SSI دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با شاخص MP می‌باشد. که این نتایج حاصله از همبستگی شاخص‌ها با یکدیگر نشان‌دهنده ارتباط و همبستگی شاخص‌ها با هم می‌باشند. که محققین بسیاری از تجزیه همبستگی شاخص‌ها به‌عنوان ابزاری مفید در مطالعه شاخص‌های تحمل به خشکی استفاده کرده‌اند (Kakaei, Kakaei, 2023 ;2012). استفاده از تجزیه همبستگی برای گزینش جهت بهبود یک یا چند صفت، نتایج مطلوب و مناسبی را به همرا دارد. لذا همبستگی و نحوه اثر صفات بر یکدیگر بایستی در برنامه‌های به‌نژادی مورد توجه قرار گیرد (Kakaei, 2023). در مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۳ محققینی از تجزیه آماری همبستگی جهت مطالعه و ارزیابی روابط بین صفات استفاده نمودند و آن را روش مناسبی جهت تصمیم‌گیری‌های اصلاحی اعلام کردند (Kakaei & Mazahery Laqab, 2023). در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۲۱ از همبستگی برای مطالعه ارتباط بین ناهنجاری‌های کلی کروموزومی و غلظت فلزات سنگین استفاده کردند و نتایج این رابطه را تحلیل نمودند (Hajmoradi & Kakaei, 2021). در تحقیقی (Kakaei & Ahmadian, 2021) از رابطه بین صفات ملکولی در اکوتیپ‌های مختلف یونجه استفاده کردند و تجزیه رابطه آماری را مفید اعلام نمودند. بر اساس شکل ۱ اکوتیپ‌های بهار ۲، سولان و اسدآباد در گروه A قرار دارند و دارای عملکرد مطلوب در هر دو شرایط محیطی می‌باشند و سایر اکوتیپ‌ها یعنی اکوتیپ‌های امامزاده‌کوه (توئیجین)، مریانج و بهار ۱ دارای عملکرد پایینی در هر دو شرایط محیطی می‌باشند. در شکل ۲ نمودار بای‌پلات اکوتیپ‌های شماره بهار ۲ و سولان در نزدیک شاخص‌های STI، ATI، GMP و MP که شاخص‌های تحمل به خشکی می‌باشند، قرار دارند. این دو اکوتیپ (بهار ۲ و سولان) بر اساس نمودار سه بعدی نیز در گروه اول قرار گرفتند پس نتیجه می‌شود که بر اساس نمودار بای‌پلات همچنین این اکوتیپ‌ها، اکوتیپ‌های مطلوب و شاخصی بوده‌اند. بر اساس تجزیه خوشه‌ای شکل ۳، اکوتیپ‌های به دو گروه آماری دسته‌بندی شده‌اند گروه اول شامل اکوتیپ‌های مریانج، بهار ۱ و امامزاده‌کوه (توئیجین) و گروه دوم شامل اکوتیپ‌های بهار ۲، سولان و امامزاده-کوه (توئیجین) می‌باشند. در گروه اول اکوتیپ‌هایی با عملکرد کمتر و در گروه دوم اکوتیپ‌هایی با عملکرد بالاتر و مناسب‌تر قرار گرفته‌اند. تجزیه تابع تشخیص در جدول ۷ گروه‌های آماری جدول تجزیه واریانس را به‌طور کامل و صددرصد مورد تأیید قرار داده است. محققین بسیاری از تجزیه کلاستر و تجزیه تابع تشخیص در مطالعات خود استفاده کرده‌اند و این روش‌ها را از روش‌هایی مناسب برای تجزیه-های آماری اعلام کرده‌اند. به‌طور کلی و بر اساس کلیه تجزیه‌های آماری مورد استفاده در پژوهش، به‌ترتیب اکوتیپ‌های بهار ۲ و سولان، بیشترین عملکرد زیست‌توده را به خود اختصاص دادند.

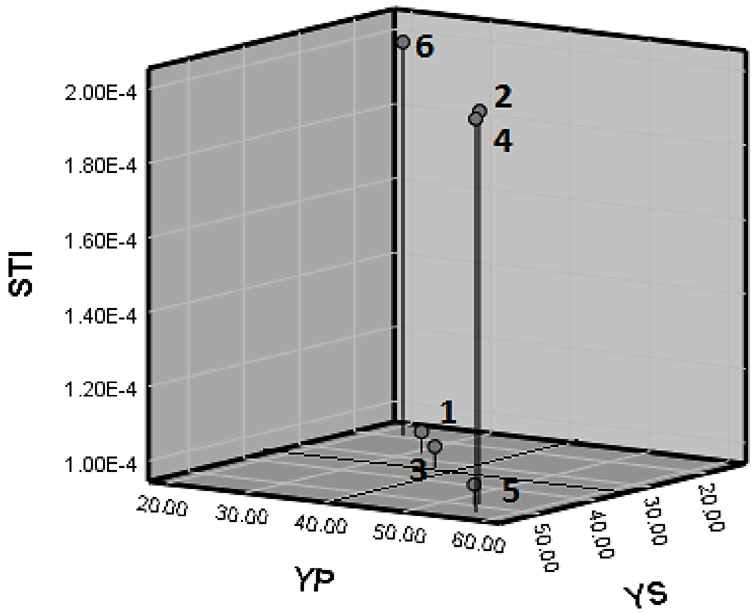
جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش خشکی و شاخص‌های تحمل به خشکی در اکوتیپ‌های سیر

Table 3- ANOVA for the yield under drought stress and non-drought stress conditions and drought tolerance indices for the garlic ecotypes

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of Squares						
		YP	YS	STI	TOL	SSI	MP	GMP
تکرار Replication	2	44.39	47.27	1.624	0.167	0.009	45.789	46.015
اکوتیپ Ecotype	5	589.653**	600.305**	1.58**	0.9ns	0.054**	594.754**	597.388**
خطا Error	10	28.985	23.303	1.154	1.367	0.007	25.802	25.71
ضریب تغییرات (CV%)		4.04	4.08	0.21	0.158	0.038	4.06	4.07
		HAM	YI	ATI	YSI	DI	STS	
تکرار Replication	2	46.24	2.399	288.968	0.001	0.001	192.686	
اکوتیپ Ecotype	5	600.004**	3.047**	4938.282ns	0.007**	0.010**	2436.851**	
خطا Error	10	25.621	1.183	1956.989	0.001	0.001	93.237	
ضریب تغییرات (CV%)		4.09	0.29	11.72	0.013	0.016	8.22	

ns، *و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

ns, *and**, Non-significant and significant at the 5% and 1% of probability levels respectively.



شکل ۱- گزینش اکوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص تحمل تنش (STI) و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)

Figure 1- Selection of drought tolerant ecotypes of garlic plant using Stress Tolerance Index (STI) and Geometric Mean Productivity (GMP)

جدول ٤- شاخص‌های تحمل خشکی در اکوتیپ‌های سیر مورد مطالعه در شرایط تنش خشکی و بدون تنش خشکی

Table 4- Drought tolerance indices of the studied garlic ecotypes under drought and non-drought stress conditions

شماره اکوتیپ Ecotype number	YP	YS	STI	TOL	MP	GMP	HMP	YI	ATI	YSI	STS	DI	SSI
1	30.74 ±4.4 bc	26.4 ±4.3 cd	0.0001 ±0.0001	4.33 ±0.577 ab	28.57 ±4.35 cd	28.48 ±4.36 cd	28.4 ±4.37 cd	0.0059 ±0.0097 bc	79.32 ±17.12 c	0.86 ±0.022 b	53.18 ±8.69 c	-0.824 ±0.026 b	0.396 ±0.062 b
2	55.96 ±7.51 a	52.63 ±7.99 a	0.0002 ±0.0002	3.33 ±0.577 c	54.29 ±7.75 a	54.26 ±7.76 a	54.23 ±7.77 a	0.011 ±0.001 a	114.32 ±9.6 b	0.94 ±0.018 a	106 ±16.06 a	-0.92 ±0.020 a	0.17 ±0.051 e
3	37.1 ±2.68 b	33.1 ±2.68 c	0.0001 ±0.0001	4 ±0.0001 b	35.1 ±2.68 c	35.04 ±2.68 c	34.98 ±2.69 c	0.0075 ±0.0006 b	89.83 ±6.9cd	0.89 ±0.007 b	66.74 ±5.4 b	-0.86 ±0.009 b	0.3 ±0.021 bc
4	53.64 ±9.1 a	48.64 ±7.52 b	0.0002 ±0.0002	5 ±1.73 a	51.14 ±8.3 ab	51.08 ±8.27 ab	51.017 ±8.24 ab	0.011 ±0.001 a	169.253 ±86.11 a	0.9 ±0.017 ab	97.88 ±14.97 ab	-0.88 ±0.015 ab	0.255 ±0.047 c
5	53.73 ±4.08 a	49.73 ±3.08 ab	0.0001 ±0.0001	1.73 ±1 d	51.73 ±3.58 ab	51.69 ±3.5 ab	51.65 ±3.55 ab	0.011 ±0.0007 a	134.02 ±42.42 ab	0.93 ±0.013 a	100.15 ±6.11 a	-0.9 ±0.011 a	0.205 ±0.036 d
6	22.9 ±2.56 c	18.57 ±2.82 d	0.0002 ±0.0001	4.33 ±1.52 ab	20.73 ±2.58 d	20.61 ±2.6 d	20.48 ±2.63 d	0.0042 ±0.0006 c	56.88 ±20.63 d	0.8 ±0.063 b	37.29 ±5.86 d	-0.76 ±0.064 c	0.529 ±0.176 a

شکل گسترده اسامی اکوتیپ در جدول ۱ و اسامی شاخص‌های مرتبط با خشکی در جدول ۲ آمده است.

The expanded form of ecotype names is given in Table 1 and the names of indicators related to drought are given in Table 2.

جدول ۵- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های متحمل به خشکی اکوتیپ‌های سیر

Table 5- Principal component analysis for drought tolerant indices of garlic ecotypes

مؤلفه Component	مقدار ویژه Eigenvalue	واریانس Variance	شاخص‌های تحمل خشکی Drought tolerant indices										
			STI	TOL	SSI	MP	GMP	HMP	YI	DI	ATI	STS	YSI
1	10.715	82.4	0.019	-0.14	0.015	0.3	0.305	0.305	0.304	0.225	0.261	0.305	0.293
2	1.511	94	-0.731	-0.58	0.469	-0.06	-0.059	-0.059	-0.056	-0.328	-0.23	-0.051	0.172

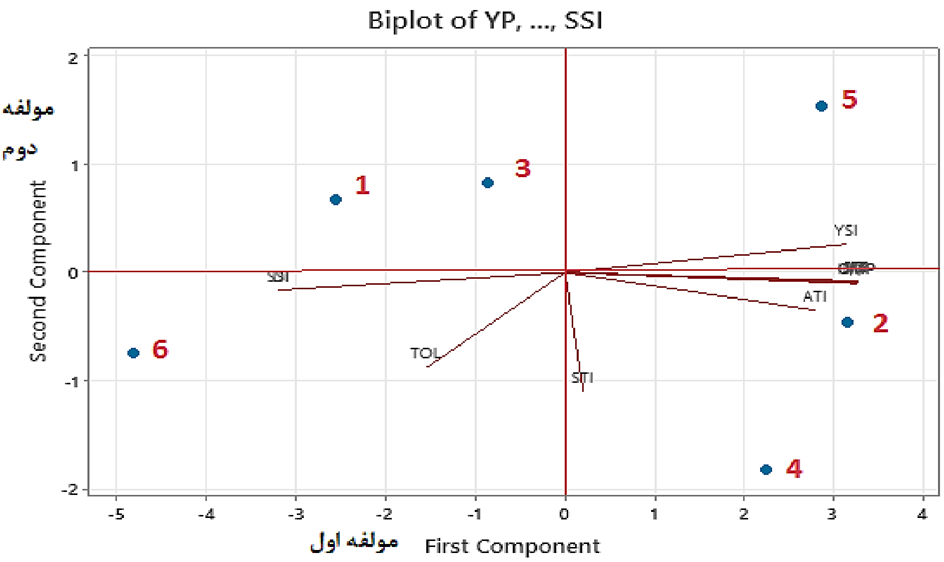
شکل گسترده اسامی شاخص‌های مرتبط با خشکی در جدول ۲ آمده است.

The extended form of the names of drought-related indicators is given in Table 2.

جدول ٦- ضرایب همبستگی شاخص‌های متحمل به خشکی با عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش در اکوتیپ‌های سیر

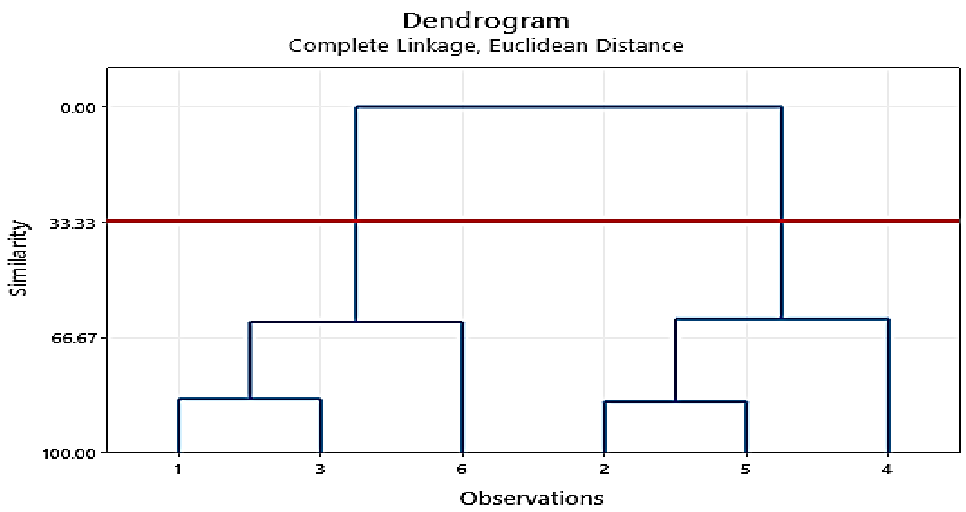
Table 6- Correlation coefficients drought tolerant indices with yield in stress (Ys) and non-stress (Yp) conditions in garlic ecotypes

	YP	YS	STI	TOL	MP	GMP	HAM	YI	ATI	YSI	STS	DI	SSI
YP	1												
YS	0.999**	1											
STI	0.142	0.137	1										
TOL	-0.423	-0.442	0.415	1									
MP	1**	1**	0.140	-0.433	1								
GMP	1**	1**	0.139	-0.43	1**	1							
HAM	1**	1**	0.138	-0.42	1**	1**	1						
YI	0.998**	0.995**	0.11	-0.43	0.997**	0.997**	0.997**	1					
ATI	0.878*	0.859*	0.168	-0.126	0.868*	0.868*	0.868*	0.898*	1				
YSI	0.932**	0.940**	-0.142	-0.539	0.936**	0.936**	0.937**	0.929**	0.713	1			
STS	0.999**	1**	0.135	-0.443	1**	1**	1**	0.995**	0.858*	0.941**	1		
DI	-0.949**	-0.955**	0.075	0.480	-0.952**	-0.952**	-0.953**	-0.945**	-0.745	-0.997**	-0.956**	1	
SSI	-0.954**	-0.96**	0.072	0.493	-0.957**	-0.958**	-0.958**	-0.952**	-0.756	-0.996**	-0.961**	0.999**	1



شکل ۲- نمودار بای‌پلات دو مؤلفه اول حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در آزمون شاخص‌های تحمل خشکی در اکوتیپ‌های سیر

Figure 2- Bi-plot diagram of the first two components of principal component analysis of drought tolerant indices in garlic ecotypes



شکل ۳- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای کلیه شاخص‌ها به روش WARD برای اکوتیپ‌های سیر

Figure 3- Dendrogram results from cluster analysis for all indices by WARD method for garlic ecotypes

جدول ۷- نتایج تجزیه تابع تشخیص برای گروه‌بندی بر اساس شاخص‌های مورد مطالعه اکوتیپ‌های سیر

Table 7- Discriminant analysis in order to grouping of garlic ecotypes based on the studied indices

Groups resulting from cluster analysis گروه‌های حاصل از تحلیل خوشه‌ای	Predicted groups based on the decomposition of the detection function گروه‌های پیش‌بینی شده بر اساس تجزیه تابع تشخیص					
	1		2		Total	
	Number تعداد	Percent درصد	Number تعداد	Percent درصد	Number تعداد	Percent درصد
1	3	100	0	100	3	100
2	0	100	3	100	3	100

نتیجه‌گیری

نتایج کلی این تحقیق بیانگر نقش بسیار مهم و مفید شاخص‌های تحمل خشکی برای تفکیک اکوتیپ‌های مورد مطالعه بود. به‌طور کلی و بر اساس کلیه تجزیه‌های آماری مورد استفاده در پژوهش به‌ترتیب اکوتیپ‌های بهار ۲ و سولان بیشترین عملکرد زیست‌توده را داشتند.

سپاسگزاری

از همه‌ی عزیزانی که در شکل‌گیری گزارش حاضر نقش ایفا کردند سپاسگزاری می‌کنم.

References

1. Blum, A. (1988). *Plant breeding for stress environments*. CRC. Press. Boca Raton, Fl. pp. 38-78. 5. Bouslama, M. and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, *24*, 933-937.
2. Bouslama, M., & Schapaugh, W.T. (1984). Stress tolerance in soybean. I: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, *24*, 933-937.
3. Esmaeili, A., Najaphy, A., & Kahrizi, D. (2022). Evaluation of drought tolerance in Camelina (*Camelina sativa*) doubled haploid lines using selection index of ideal genotype (SIIG). *Journal of Crop Breeding*, *14*(44), 199-210. https://jcb.sanru.ac.ir/article-1-1364-fa.html
4. Farshadfar, E., & Sutka, J. (2002). Screening drought tolerance criteria in maize. *Acta Agronomica Hungarica*, *50*(4), 411-416.
5. Fernandez, G.C.J. (1992). *Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance*. In: Proceedings of on the Symposium Taiwan, August 13-18. 25: 257-270.
6. Fernandez, G.C.J. (1992). *Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance*. In: Kuo, C.C. (Ed.), Procof an International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress AVRDC, Shanhua, Taiwan.
7. Fischer, R.A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain Yield Responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, *29*, 897-912.
8. Fisher, R.A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*, *29*, 897-912.
9. Hajmoradi, F., & Kakaei, M. (2021). Genotoxic effects of heavy metals on mitotic chromosomes of *Trigonella foenum-graecum* L. *Journal of Genetics Resources*, *7*(2), 265-271. https://doi.org/10.22080/jgr.2021.21814.1263
10. Kakaei, M., & Mazaheri Laqab, H. (2023). Genetic analysis of path coefficients of some traits in relation with tolerance to alfalfa leaf weevil (*Hypera postica* Gell.). *Journal of Genetics Resources*, *9*(1), 83-91. https://doi.org/10.22080/jgr.2023.24987.1343
11. Kakaei, M. (2019a). Evaluation of terminal drought stress tolerance in Lentil (*Lens culinaris*). *Journal of Crop Production and Processing*, *8*(4), 59-71. (In Persian). https://doi.org/10.29252/jcpp.8.4.59
12. Kakaei, M. (2023). Selection of old and new varieties of bread wheat tolerant to drought stress after the flowering stage. *Journal of Crop Breeding*, *16*(46), 172-185. (In Persian). https://doi.org/10.61186/jcb.15.46.189
13. Kakaei, M. (2009). *Studying the effect of genotype and drought stress on the physiological, morphological, phenological and biochemical characteristics of autumn rapeseed*. Master's thesis in Plant Breeding, Islamic Azad University.
14. Kakaei, M. (2019b). Study of relationship among seed proteins pattern with quantitative traits in some of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Iranian Journal of Pulses Research*, 10(1), 12-27. (In Persian). https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i1.57457
15. Kakaei, M. (2023). *Evaluation of the phenotypic relationship of native stands of Iranian garlic under rainfed conditions.* 13th Iranian Horticultural Science Congress 18-21 September 2023, Gorgan, Iran.
16. Kakaei, M. (2023). Selection of old and new varieties of bread wheat tolerant to drought stress after the flowering stage. *Journal of Crop Breeding*, *16*(46), 68-79.
17. Kakaei, M., & Ahmadian, S. (2021). Genetic diversity study of some Iranian alfalfa genotypes based on seed storage proteins patterns. *Iranian Journal of Science and Technology Transactions, A Science* https://doi.org/10.1007/s40995-021-01142-z
18. Kakaei, M., & Moosavi, S.S. (2017). Assessing genetic diversity and selection of effective traits on yield of Chickpea lines using multivariate statistical methods. *Environmental Sciences*, *2*(2), 21-38.
19. Kakaei, M., Zebarjadi, A., Mostafaie, A., & Rezaie zad, A. (2010). Identification of genotypes tolerant to drought stress in rapeseed using tolerance indices. *Electronic Journal of Crop Production*, *3*(4), 107-124. (In Persian)
20. Kakaei, M., Mazahery Laghab, H., Zebarjadi, A.R., & Mahdavi Damghani, A.M. (2012). Evaluation of tolerance to drought stress in some bread wheat genotypes. *Plant Production Technology*, *4*(1), 1-14. (In Persian)

21. Khalili, D. (2016). Challenges facing water resources management under drought conditions in Iran. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, *1*(2), 149-164. (In Persian)
22. Moosavi, S.S., Yazdi Samadi, B., Naghavi, M.R., Zali, A.A., Dashti, H., & Pourshahbazi, A. (2008). Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert Journal*, *12*, 165-178.
23. Oosthuizen, C.B., Reid, A.M., & Lall, N. (2018). Chapter 9 - Garlic (*Allium sativum*) and Its Associated Molecules, as Medicine. *Medicinal Plants for Holistic Health and Well Being* 277-295. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812475-8.00009-3
24. Rosielle, A.A., & Hamblin, A.M.J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non- stress environments. *Crop Science*, *21*, 943-946.
25. Wilhite, D.A. (1993). Planning for drought: A methodology, In: Wilhite, D.A. (Ed.) Drought Assessment, Management, and Planning: *Theory and Case Study*, *6*, 87-108.